# Практична робота №5

# Тема: «Фізичні основи технології очищення газів від пилу»

# Мета: ознайомитися з фізичними принципами процесів уловлювання пилу з газових потоків, вивчити основні методи та апарати для очищення газів від пилу, а також з’ясувати фактори, що впливають на ефективність очищення.

# Теоретичні відомості

1. **Фізичні основи технологічних процесів пиловловлювання**

Технологічні процеси очищення газових викидів ґрунтуються на фі- зичних та хімічних властивостях забруднювачів та використанні основних фізичних закономірностей, внаслідок яких відбувається пиловловлювання. Видалення пиловидних частинок з газових потоків відбувається з викорис- танням сухих та мокрих технологій очищення.

Удосконалення технологічних процесів та розробка нових мало- й безвідходних технологій шляхом створення безперервних замкнутих про- цесів, що дозволяють вловлювати й утилізувати газові відходи, базується на використанні одного або декількох механізмів осадження завислих в газах частинок. Основними механізмами осадження завислих частинок є дія сил гравітації, інерції, дифузії, відцентрових сил та сил зачеплення.

Осадження під дією сил гравітації (седиментація) обумовлене верти- кальним осіданням частинок внаслідок дії сили ваги при переміщенні їх через газоочисний апарат.

Осадження під дією відцентрової сили відбувається при криволіній- ному русі аеродинамічного потоку, коли виникають відцентрові сили, під дією яких частинки пилу відкидаються на поверхню апарата.

Інерційне осадження відбувається у випадку, коли маса частинки або швидкість руху настільки незначні, що вона вже не може рухатися разом з газом по лінії течії, що охоплює перешкоду. Намагаючись за інерцією про- довжувати свій рух, частинки пилу стикаються з перешкодою і осаджуються на ній.

Дифузійне осадження відбувається внаслідок того, що дрібні части- нки пилу зазнають безперервної дії газів, які знаходяться в броунівському русі. В результаті цієї взаємодії відбувається осадження частинок на пове- рхні обтічних тіл або стінок пиловловлювача.

Осадження частинок за рахунок зачеплення спостерігається, коли відстань частинки, що рухається в газовому потоці, від обтічного тіла не перевищує її радіуса.

Крім основних механізмів осадження завислих частинок, в техноло- гічних процесах очищення газових викидів враховують термофорез, дифу- зіофорез, фотофорез, вплив електричного й магнітного полів та радіомет- ричних сил.

**Термофорез** – це відштовхування частинок нагрітими тілами. Відш- товхування викликане силами, що діють на нерівномірно нагріті частинки аерозолів, які знаходяться в газоподібній фазі. Механізм цих сил суттєво залежить від відношення розміру частинки і середньої довжини вільного пробігу газових молекул.

**Дифузіофорез** – це рух частинки, що обумовлений градієнтом кон- центрації компонентів газової суміші, який проявляється в процесах випа- ровування та конденсації. Градієнт концентрації пару, що виникає при ви- паровуванні, є причиною гідродинамічної течії парогазової суміші, що впливає на осадження частинок.

**Фотофорез** – це рух частинок аерозолю, що освітлені з однієї сторони. Характер цього явища визначається розподіленням температур в освітлюва- льній частинці, яке залежить від форми і розміру частинок, прозорості та показника заломлення матеріалу. Якщо сторона, що звернена до світла, га- рячіша, ніж зворотна, то частинка буде віддалятися від джерела світла.

В технологічному обладнанні для пиловловлювання в більшості ви- падків одночасно беруть участь в очищенні газового потоку декілька фізи- чних процесів. Але, частіше, тільки один з них є домінуючим при оса- дженні частинок певного типу. При проектуванні технологічних процесів і конструюванні газоочисного обладнання необхідно в першу чергу визна- чити тип речовини, що видаляється з газового потоку, її обєм та парамет- ри. Основними параметрами є швидкість газового потоку, температура й склад газів, природа компонентів, що вилучаються з газових викидів, та необхідний ступінь очищення.

# Гравітаційне осадження частинок

Гравітаційне осадження застосовують для грубого очищення газових викидів від запилених частинок розміром 0,3...10 мм та більше.

Гравітаційне осадження (седиментація) відбувається внаслідок вер- тикального осідання частинок під дією сили ваги при проходженні їх че- рез газоочисний апарат. При падінні частинка пилу зазнає опору середо- вища. Якщо знехтувати турбулентністю потоку та конвекційними течіями, то сила опору, що діє на частинку при її русі, можна визначити з рівняння

# F =  Sч ч V 2 / 2 , (3.1)

**ч**

де  - коефіцієнт опору, що залежить від критерію Рейнольдса, й визнача- ється за формулою

# Re = Vч dч г / г , (3.2)

де **Sч** - площа перерізу частинки, що перпендикулярний напрямку руху, м2;

**Vч** - швидкість руху частинки, м/с;

**г** - густина газу, кг/м3;

**dч** - діаметр частинки, м;

**ч** - густина частинок, кг/м3;

**г**- динамічна в’язкість газів, Пас.

Характер залежності коефіцієнта опору середовища визначається режимом руху кулеподібної частинки (табл. 3.1).

# Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнтів опору середовища від режиму ру- ху частинок

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим руху частинки | Критерій Рейнольдса | Значення коефіцієнта опо-ру середовища |
| Ламінарний | Re  2 |  = 24/ Re |
| Перехідний | Re < 500 |  = 18,5/ Re |
| Турбулентний | Re> 500 |  = 0,44 |

У випадку кульової форми частинки критерій Рейнольдса

**R = Vч dч** **г** / **г** , **(3.3)**

де **dч** - діаметр частинки, м;

**г** - динамічна в’язкість газів, Па·с.

При ламінарному режимі руху частинок сферичної форми опір сере- довища відповідно до закону Стокса становить

# F=3  dч гVч . (3.4)

У випадку, коли розмір частинок **dч**= 0,2...2,0 мм, при визначенні опо- ру середовища вводиться поправка, що враховує підвищену рухомість час- тинок, розмір яких адекватний середній довжині вільного пробігу газових молекул.

Тоді опір середовища руху частинки буде

# F=3  dч гVг / Ск , (3.5)

де **Ск**- поправка за підвищену рухомість частинок, значення якої для по- вітря при нормальних умовах наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - **Поправка за підвищену рухомість частинок**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Діаметр частинки **dч**, мкм | 0,003 | 0,01 | 0,03 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 3,0 | 10,0 |
| Поправка **Ск** | 90,0 | 24,5 | 7,9 | 2,9 | 1,57 | 1,16 | 1,03 | 1,0 |

При відсутності опору середовища швидкість руху частинки під дією сили ваги буде змінюватися в залежності від часу, тобто за законом

# Vч = gч ч, (3.6)

де **ч** – час осадження частинки,

**gч** - прискорення частинки .

В зв’язку із збільшенням швидкості частинки (**Vч** ) буде рости вели- чина опору середовища (**F**) і відповідно буде зменшуватися прискорення частинки (**gч**). В результаті такого співвідношення сил частинка буде руха- тися з постійною швидкістю. Величина цієї сталої швидкості визначається

з рівності сили ваги й сили опору середовища

# 3  dч г в = (ч - г) gч d3 / 6 , (3.7)

де **в** - швидкість витання (осадження) частинки, яка визначається із співвідношення (**3.8**)

**в = g d 2(** **-**  **) / 18** **= g**  **, (3.8)**

**ч ч ч г г ч р**

де **р** - час релакції частинки.

Швидкість осадження (витання) частинки визначається з рівності опору середовища та сили ваги (див. 3.8)

Діаграма для визначення швидкості осадження частинок наведена на рис. 3.1.

103

**в**, м/с

4

3

2

для **ч** = 2000 кг/м3

Турбулентний режим

для **ч** = 8000 кг/м3 для **ч** = 4000 кг/м3 для **ч** = 2000 кг/м3

для **ч** = 1000 кг/м3

1

Ламінарний режим

**dч**, мкм

102

10

1

10-1

10-2

10-3

5 10 50

100

500 5000

Рисунок 3.1 – **Діаграма для визначення швидкості осадження частинок в повітрі:** 1 – під дією сили ваги;

2,3,4 – під дією сили, що перевищує силу ваги в 10, 100 та 1000 разів

# Інерційне осадження частинок

Інерційне осадження частинок застосовують для грубого очищення

газових викидів від запилених частинок розмірами менше 25…30 мкм при швидкості руху газів 10…15 м/с.

Інерційне осадження відбувається за рахунок того, що при обтіканні твердого тіла запиленим потоком частинки, внаслідок великої інерції, продовжують рухатися поперек зігнутих лінії течії газів й осаджуються на поверхні тіла (рис. 3.2).

Х

Y

dч

Напрямок

потоку

# Рисунок 3.2 – Інерційне осадження частинок на кулі: рух газів; - - - рух частинок

Коефіцієнт ефективності інерційного осадження визначається част- кою частинок, видалених з потоку при обтіканні ними тіла.

Траєкторія руху частинок в газовому потоці описується рівнянням:

ρч Wч

d~~~~ч dτ

 ρчVч

dVг dτ

 F**c**

, **(3.9)**

де **Wч** - об’єм частинки, м3;

 - час руху, с;

**ч**- густина частинки, кг/м3;

~~~~**ч , Vг** - вектор швидкості, відповідно, частинки та газів в місці знахо- дження частинки, м/с;

**Fс** - інерційна сила, яка діє на частинку.

Відношення інерційної сили, яка діє на частинку, до сили гідравліч- ного опору середовища характеризується інерційним параметром, яким є критерій Стокса:

**Stk**  **d2ρчVгCk** / **18μг 2 R , (3.10)**

**ч**

де **μг** - динамічна в’язкість газу, Пас;

**R** - характерний розмір обтічного тіла, (радіус кулі або циліндра); м

**Ck** - поправка, яка враховує підвищену рухомість частинок, розмір яких порівнюється з середньою довжиною вільного пробігу газових молекул.

Критерій Стокса чисельно рівний відношенню відстані, що проходи-

ла частинка з початковою швидкістю **Vг** при відсутності зовнішніх сил

поки не зупиниться, до характерного розміру обтічного тіла, яким може бути діаметр кулі або циліндра. Відстань, що її проходить частинка, ви- значається за формулою

# lч  d2V ρ / 18 μг . (3.11)

**ч**

**г**

**ч**

При стаціонарному русі газового потоку, коли частинки настільки ма- лі, що для інерційної сили, яка діє на частинку, можна застосувати закон Стокса, рівняння (**3.9**) можна подати в вигляді

**2Stk**

# d 2ρ

**dτ 2**

**o**

 **ρ**

**τo**

 **ωo** , **(3.12)**

де **ρ** – безрозмірна координата частинки, тобто відношення радіус-векто-

ра частинки ( **rч**) до характерного розміру обтічного тіла (**R**);

**о**- безрозмірна швидкість, що визначається як відношення вектора швидкості газів в місці знаходження частинки ( **Vг** ) до швидкості газів, які віддалені від обтічного тіла (**об**);

**о** - безрозмірний час, що рівний

**τо**  **ωобτ / R . (3.13)**

Якщо частинка рухається на ділянці, де закон Стокса не можна засто- сувати, то в рівняння (**3.12**) вводиться поправка, яка враховує відношення дійсної сили опору до стоксівського опору,

**48 Stk d2ρ**  **dρ**  ~~~~ , **(3.14)**

**ξч Reч dτ2 dτ o**

**o**

де **ч** – коефіцієнт, що залежить від критерію Рейнольдса для частинки (**Reч**),

# Reч = dч ч ( ωч - Vг) / г . (3.15)

Аналіз рівняння (**3.14**) свідчить, що при **Stk = 0**, коли частинки мають безмежно малу масу,

**o**  **dρ / dτo** . **(3.16)**

Тобто, в цьому випадку частинка рухається точно за лінією течії і не дотикається до поверхні обтічного тіла. Таке явище також буде відбувати- ся при достатньо малих значеннях критерію Стокса.

При певному мінімальному значенні критерію Стокса (**S****tk**) інерція частинки є достатньою, щоб перебороти збільшення швидкості її газовим потоком (**Stk > S****tk** ) і вона досягає поверхні обтічного тіла.

Аналізуючи процес інерційного осадження частинок на кулі (рис.3.2), можна дослідити вплив режиму руху газового потоку на інерцій- не осадження. При ламінарній течії потоку (**Re< 2**) ефективність інерцій- ного осадження не залежить від критерію Рейнольдса поки можна не вра- ховувати існування прилеглого до обтічного тіла шару потоку (в’язке об- тікання).

При переході до турбулентного руху потоку, що характеризується збільшенням значень критерію **Re**, на поверхні обтічного тіла утворюється прилеглий шар, товщина якого зменшується із збільшенням критерію **Re**. Якщо значення критерію Рейнольдса **Re > 500**, то лінії течії сильніше ви- гинаються (потенційне обтікання) і обтікають тіло на близькій відстані від нього. В результаті ефективність інерційного осадження частинок буде вища. Збільшення ефективності осадження буде продовжуватися із змен- шенням товщини прилеглого (ламінарного) до тіла шару, тобто із збіль- шенням критерію Рейнольдса.

# Відцентрове осадження частинок

Відцентрове осадження частинок застосовують для очищення запиленого

повітря з температурою до 500С від

7

ОГ

6

ЗГ

R2

V1

R1

V2

5

4

Пил

* + 1. частинок розміром більше 5 мкм при швидкості руху газів 2…5 м/с.

Найбільше розповсюдження для очистки газів в промисловості отри-

1 мали циклони. Виділення пилу в ци- клонах відбувається під дією відцен- трових сил, що виникають внаслідок обертання газової течії в корпусі апарата. Основні частини циклону,

* + 1. незалежно від їх конструктивних особливостей, представлені на рис.

3.3.

Рисунок 3.3 – **Циклон**:

* + - 1. – циліндрична обечайка корпуса;
			2. – кришка обечайки;
			3. – конус корпуса;
			4. – пилозбірник;
			5. – центральна труба для відведення очищеного газу;
			6. – патрубок центральної труби;
			7. – тангенціальний патрубок для від- ведення газу.

Запилений газ надходить в циклон по тангенціальному патрубку 7, в результаті чого він отримує обертовий рух. Після виконання двох чи трьох обертів в кільцевій щілині між корпусом 1 та центральною трубою 5 вит- коподібно опускається вниз. Причому в конусній частині 3 апарата внаслі- док зменшення діаметра швидкість обертання течії збільшується (**V2 > V1**). Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються до стінок цикло- ну. Завдяки цьому основна маса пиловатих частинок зосереджується в те- чії газу, що рухається безпосередньо біля стінок апарата. Цей потік напра- вляється в нижню конічну частину корпуса 3. Частинки пилу при цьому потрапляють в пилозбірник 4. Очищений газ після виконання крутого роз- вороту по центральній трубі 5 виводиться з апарата.

Таким чином, в циклоні відбуваються складні аеродинамічні процеси, від досконалості яких залежить ефективність роботи цих апаратів.

При роботі циклона на частинку, що рухається в полі відцентрових сил, діють три складові: відцентрова, сила опору та сила ваги.

Відцентрова сила, що відкидає частинку до стінки циклона,

# Рц = (m  2) / R , (3.17)

**т**

cила опору руху частинки в радіальному напрямку

# РR = 3  R dч  , (3.18)

cила ваги частинки

# Pg = m g , (3.19)

де **m** - маса частинки, кг;

**т -** тангенціальна складова швидкості частинки, м/с;

**R -** радіус від центра до частинки, м;

**R -** радіальна складова швидкості частинки, м/с;

**dч** - діаметр частинки, м;

 - густина середовища, Нс/м2 (вязкість).

Частинка буде рухатися в радіальному напрямі, якщо виконується вимога

# Рц > РR . (3.20)

Нехтуючи силою тяжіння частинки, оскільки вона дуже мала, та ви- користовуючи рівняння (3.17) можна записати

**(m** **2)/R = 3**  **d**  **. (3.21)**

**т R ч**

Маса кулеподібної частинки:

# m = dч3ч/6 , (3.22)

де **ч** - густина матеріалу частинок, кг/м3.

Швидкість руху частинки в радіальному напрямку, якщо підставити (3.21) в рівняння (3.20), дорівнює

# R = (d 2 2 ) / (18  R) . (3.23)

**ч**

**т**

**ч**

Необхідний час осідання частинки, що має подолати відстань (**R2** - **R1**), становить

# ос = (R2 – R1) R = (9 (R22-R12))/(d 2 2ч), (3.24)

**ч**

**т**

де **R1, R2** - відповідно радіуси центральної труби та циклона (рис. 3.3), м.

За другої умови, необхідний час осідання частинки:

**ос = (2** **R n****) /** **т** , **(3.25)**

де **n** - число обертів, що робить частинка в циклоні (**n****= 2… 3**).

Із сумісного рішення рівнянь (3.23 та 3.24) визначають найменший діаметр частинок, які осідають в циклоні за час осідання **ос**

**μ****R 2**  **R1** 

**πn****ρч**  **Т**

**dmin**

**= 3**

. **(3.26)**

Ступінь вловлення частинок, діаметр яких (**dx**) менше мінімального (**dmin**), дорівнює:

# x = dx2 / d 2 . (3.27)

**min**

Необхідний обєм циклона для очищення обєму газу за час **ос**

# Wц = Wг ос , (3.28)

де **Wг** - обєм очищеного газу, м3/с.

Для оцінки ефективності роботи циклона використовують критерій Фруда

# Fг = т / Rg . (3.29)

Гідравлічний опір циклона дорівнює:

# Pц =  (г  2 ) / 2 , (3.30)

**т**

де  - коефіцієнт гідравлічного опору циклона;

**г** - густина газів, кг/м3.

Коефіцієнт гідравлічного опору для різних типів циклонів **= 4…25**.

При збільшенні концентрації пилу в газовому потоці коефіцієнт гід- равлічного опору циклона зменшується.

# Дифузійне осадження частинок

Дифузійне осадження дрібних частинок на поверхні обтічних тіл або стінок апарата відбувається внаслідок того, що ці частинки зазнають без- перервної дії молекул газу, які знаходяться в броунівському русі.

Переміщення частинок при дифузійному осадженні описується рів- нянням Ейнштейна

# x2 = 2 Dч Tг , (3.31)

де **x** - величина зміщення частинок, м;

**Dч** - коефіцієнт дифузії частинки, що характеризує інтенсивність броунівського руху, м2/с;

**Tг** - абсолютна температура газу, К.

Коли розмір частинок (**dч**) більший середнього шляху пробігу моле- кул ( **li** ), тобто **dч > li** , коефіцієнт дифузії є функцією розміру частинок

**Dч = Ck KБ Тг / 3 πμгdч , (3.32)**

де **Сk** - поправка, яка враховує підвищену рухомість частинок (табл. 3.2.);

**KБ** - постійна Больцмана, що рівна 1,3810-23 Дж/К.

Коли розмір частинок (**dч**) менший середнього шляху пробігу мо- лекул ( **li** ), тобто **dч < li**, коефіцієнт дифузії знаходиться за рівнянням Лангмюрма

**8Rг Тг**

 **М**

**г**

**Dч =**

**4 KБ Тг**

**3 πd2Р**

# , (3.33)

**ч г**

де **Rг** - універсальна газова стала, рівна 8324 Дж/кмольК;

**Рг** - абсолютний тиск газів, Па;

Мг - маса однієї кіломолі, кг/кмоль.

Коефіцієнт дифузії входить в безрозмірний комплекс, що характе- ризує відношення сил внутрішнього тертя до дифузійних сил, цей ком- плекс характеризується критерієм Шмідта

**Sc = μг /** **гDч**  **νг / Dч , (3.34)**

де **г** - кінематична вязкість, м2/с.

Крім критерію Шмідта **Sc** в практиці дифузійних розрахунків ви- користовують критерій Пекле **Ре**, що характеризує відношення конвек- ційних сил до дифузійних

# Ре = Re Sc = Vг l / Dч , (3.35)

де **Vг** - швидкість газу, м/с;

**l** – визначаючий лінійний параметр обтічного тіла.

Значення коефіцієнта дифузії частинок для нормальних умов, що обчислені за формулою (3.32), та значення критерію Шмідта **Sc** в залеж- ності від розмірів частинок наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - **Значення коефіцієнта дифузії та критерію Шмідта**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розмір частинок, мкм | 10 | 1,0 | 0,1 |
| Коефіцієнт дифузії, м2/с | 2,410-12 | 2,710-11 | 6,11010 |
| Критерій Шмідта | 6,4106 | 5,6105 | 2,5104 |

Дані табл. 3.3 свідчать, що значення коефіцієнта дифузії різко збіль- шується із зменшенням розміру частинок. Швидкість дифузії навіть субмік- ронних частинок надто мала порівняно з швидкістю молекул газу. Це обу- мовлено тим, що коефіцієнт дифузії частинок на декілька порядків менший. Розрахунок дифузійного осадження частинок виконують за форму-

лами, що одержані при розгляданні процесів молекулярної дифузії.

Масову швидкість частинок (кг/с), що дифундують на кулю, обчис- люють за формулами:

а) якщо критерій Рейнольдса **Re** < 3 і критерій Шмідта **Sc** = 106, то

# wч = DчdкCч Re1/3S 1/3 , (3.36)

**c**

де **dк –** діаметр кулі, м;

**Сч –** концентрація частинок в потоці, кг/м3;

б) якщо значення критеріїв **Re** = **600…2600** і **Sc =** 1**06,** то

# wч=0,8  Dч dkCч Re1/3Sc1/3 ; (3.37)

в) якщо значення критеріїв **Re** = **100…700** і **Sc = 103 ,** то

# wч=0,95  Dч dk Cч Re1/2 S 1/3 . (3.38)

**c**

Ефективність дифузійного осадження частинок при обтіканні газовим потоком кулі розраховують за формулою

де **Ре-** критерій Пекле.

**2**

**D=2**

# /(Pеdk)1/2 , (3.39)

Ефективність дифузійного осадження на циліндрі обчислюють за формулами:

а) при вязкому обтіканні циліндра

# D =2,92 / (( 2 – lnRe )1/3 Р 2/3), (3.40)

**е**

в) при потенційному осадженні

# D = 3,19 / Pе . (3.41)

Аналіз формул (3.39 –3.41) свідчить, що ефективність дифузійного оса- дження частинок обернено пропорційна розмірам частинок та швидкос- ті газового потоку.

# Осадження частинок за рахунок зачеплення

Важливе значення при захоплюванні частинок за рахунок дотику по- верхні обтічного тіла має їх розмір. Осадження частинки відбувається тоді, коли її траєкторія не пересікається з поверхнею обтічного тіла, а також у випадку проходження лінії течії на відстані від поверхні тіла, що рівна її радіусу. Тобто, коли відсутнє інерційне осадження, то ефективність зачеп- лення вища нуля.

Ефект зачеплення характеризується параметром

# R = dч/ dт , (3.42)

де **dч, dт –**відповідно, діаметр частинок і обтічного тіла.

При потенційному обтіканні тіла, коли величина параметра **R** насті- льки мала, що можна знехтувати силами інерції, ефективність зачеплення становить: при обтіканні кулі **R = 3R**, а при обтіканні циліндра **R = 2R.**

У випадку, коли за рахунок суттєвого значення інерційних ефектів траєкторії осідаючих частинок прямолінійні, ефективність зачеплення складає: при обтіканні кулі **R =2R**, а при обтіканні циліндра **R = R**.

Таким чином, при потенційному обтіканні кулі ефективність механі- зму зачеплення знаходиться в межах (**2…3**)**R**, а при потенційному обті- канні циліндра – (**1…2**)**R**.

Ефективність осадження частинок за рахунок дотику при вязкому обті-

канні циліндра визначається за формулами:

# R = R2/(2 – ln Re) , (3.43)

**R = R2 Re 0,0625 . (3.44)**

Аналіз рівнянь (3.43, 3.44) свідчить, що ефект зачеплення стає суттє- вим при осадженні частинок на сферах з малим діаметром. Осадження ча- стинок за рахунок зачеплення значною мірою визначається режимом течії газового потоку і не залежить від швидкості газів.

# Ефективність очищення газів від пилу

Очищення повітря від пилу за ефективністю є грубе, середнє та тонке. Грубе очищення передбачає затримання максимальної кількості пилу (в процентах до початкового вмісту пилу) і, головним чином, пилу великих фракцій (200 мкм та більше). Таке очищення використовують як поперед- нє для запиленого повітря при багатоступеневому очищенні. При серед- ньому очищенні затримується пил, що містить дрібні фракції (10… 100 мкм). В цьому випадку початкова концентрація не повинна перевищувати 150…200 мг/м3, а кінцева – 30…50 мг/м3. Тонке очищення характеризу- ється необхідністю вловлювання пилу (менше 10мкм) й доведенням оста- точної концентрації пилу до 1…2 мг/м3. Початковий вміст пилу не пови- нен перевищувати 3…5 мг/м3.

Ступінь очищення (коефіцієнт корисної дії) є відношенням кількості вловленого матеріалу до кількості матеріалу, який надійшов в газоочис- ний апарат з газовим потоком за певний період часу. Розрізняють загаль- ний ступінь очищення повітря від пилу, який відноситься до всієї маси ча- стинок, та фракційний ступінь очищення для кожної фракції окремо.

Загальний ступінь очищення є відношенням маси пилу, що вловлена в апараті, до маси пилу, що надійшла до нього за один і той же період часу

  **G1**  **G 2**  **100%**  **C1**  **C2**  **100%** ; **(3.45)**

**3 G1 C1**

де **G1** та **G2 –** масові витрати частинок пилу, що вміщуються в газах, які, ві- дповідно, надходять в апарат і виходять з нього, кг/с;

**С1** та **С2 -** концентрації частинок пилу в газах, що, відповідно, надхо- дять в апарат і виходять з нього, кг/м3.

В випадку, коли спостерігається зміна обєму газу за рахунок підсмо- ктування, ефективність очищення становить

**n**  **1 – Кп (С2/С1)** ; **(3.46)**

де **Кп –** коефіцієнт підсмоктування.

Ефективність очищення для частинок пилу різних розмірів неодна- кова. Якщо відомий фракційний вміст пилу

**Ф1**  **Ф2**  **Ф3**  **Ф4**  **...** **Фn**  **100%**; **(3.47)**

де **Ф1 ,Ф2 ,...,Фn** - процентний вміст пилу даної фракції;

то доцільно коефіцієнт очищення газів визначати за фракційною ефектив- ністю, тобто ступенем очищення газів від частинок визначеного розміру.

Фракційний ступінь очищення:

# ф  [Фвх – Фвих (1 - )] ; (3.48)

де **Фвх ,Фвих** - вміст фракцій в газах, відповідно, на вході та виході апарата,

%.

Знаючи фракційний ступінь очищення газів **ф1 ,** **ф2 , ...,** **Фn** , загальну

ефективність очищення газів визначають за формулою:

  **Ф1**  **Ф1**  **Ф2**  **Ф1**  **...** **Фn**  **Ф1** . **(3.49)**

# 3 100

**100**

# 100

Технологічна схема очищення газів від пилу буває одноступенева та багатоступенева. Одноступенева – якщо необхідний ефект очищення дося- гається в одному пиловловлювачеві. В випадку, коли ефект одноступене- вого очищення недостатній, установлюють послідовно декілька типів пи- ловловлювачів. Сумарний ступінь очищення газів декількох послідовно встановлених апаратів визначається за формулою:

  **1**  **(1**  **1 )**  **(1**  **2 )**  **...** **(1**  **n )** , **(3.50)**

де **1 ,** **2 , ...,** **n** - ступінь очищення газів від пилу в першому, другому і n-му апараті.

З санітарної точки зору важлива не частка вловлювання пилу  , а частка пропущеного, що виражається у вигляді коефіцієнта проскоку:

**P**  **1**  ; **(3.51)**

Кінцевий вміст пилу (**С2**) в повітрі, що виходить з апарата, встанов- лений гранично-допустимою концентрацією пилу в робочій зоні примі-

щення (табл. 3.4).

# Таблиця 3.4 - Допустимий вміст пилу в повітрі, що викидається в атмосферу з пилоочисного апарата

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Гранично-допустима концентрація пилу в повітрі робочої зони приміщення, мг/м3 | до 2 | 2…4 | 4…6 | більша6 |
| Допустима концентрація пилу в повітрі, що викидається в атмосферу | 30 | 60 | 80 | 100 |

1. **Технологічне обладнання для очищення газів від пилу**

Видалення частинок пилу з газових потоків з використанням гравіта- ційного, інерційного, відцентрового й дифузійного осадження та за раху- нок зачеплення реалізується технологічним обладнанням для сухого або мокрого пиловловлювання, класифікація якого наведена на рис. 3.4.

Класифікація пиловловлювачів за їх ефективністю в залежності від дисперсності пилу наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - **Класифікація пиловловлювачів за їх ефективністю**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Клас пилов- лов-лювачів | Розміри части- нок, що ефек- тивно вловлю-ються, мкм | Нижня границя ефективності в залежностівід дискретності пилу |
| група дискретностіпилу | ефектив-ність, % |
| І | більше 0,3…0,5 | V – дуже дрібнодисперснийІV - дрібнодисперсний | < 8099,9…80 |
| ІІ | більше 2 | ІV - дрібнодисперснийІІІ - середньодисперсний | 92…8599,9…92 |
| ІІІ | більше 4 | ІІІ - середньодисперснийІІ - великодисперсний | 99…8099,9…99 |
| ІІ | більше 8 | ІІ - великодисперснийІ – дуже великодисперсний | 99,9…85> 99,9 |
| І | більше 9 | І – дуже великодисперсний | > 99,9 |

Характеристика видів технічного обладнання для знепилення, об- ласть найбільш доцільного його використання в залежності від дискретно- сті пилу та опір наведені в табл. 3.6.

|  |  |
| --- | --- |
|  | тканинні |
|  |  |
|  |
|  | волокнисті |
|  | **Фільтри** |  |  |
|  |
|  |
|  | зернисті |
|  |  |  |
| Технологічне обладнання для знепилення |  |  |
|  | насипні |
|  |  |
|  |
|  | жорсткі |
|  |
|  |
|  | пилоосаджувальні камери |
|  |  |
|  |
|  | інерційні пиловловлювачі |
|  |
|  |
|  | Апарати сухого знепилення |  |  | жалюзійні пиловловлювачі |
|  |
|  |
|  |  |  | циклони |
|  |
|  |  |
|  |  | вихрові пиловловлювачі |
|  |
|  |
|  | динамічні пиловловлювачі |
|  |
|  |
|  | порожнисті газопромивачі |
|  |  |
|  |
|  | насадкові газопромивачі |
|  |
|  |
|  | пінні пиловловлювачі |
|  | Апарати мокрогопиловловлю- вання |  |  |
|  |
|  |  | механічні газовловлювачі |
|  |  |
|  |
|  |
|  | ударно-інерційні скрубери |
|  |
|  |
|  |  | газопромивачі відцентрової дії |
|  |
|  |
|  | швидкісні газопромивачі |
|  |

# Рисунок 3.4 – Класифікація технологічного обладнання для сухого й мокрого очищення газів від пилу

Таблиця 3.6 - **Характеристика видів пиловловлювачів**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид пиловлов- лювача | Тип пиловловлюва- ча | Клас пилов- ловлю- вача за ефекти-вністю | Область найбільш доці- льного використання загрупами дисперсності пилу | Опір, кг/м2 |
| І | ІІ | ІІІ | ІV | V |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Гравіта- ційне оса-дження | пилоосаджува- льні камери | V | + | + | - | - | - | 20 |
| Інерційне осадження | циклони | ІV | - | + | + | - | - | 200 |
| відцентровіскрубери | ІV | - | + | + | - | - | 100 |
| ударно- інерційні скру-бери | ІІІ | - | - | + | - | - | 120 |
| струйні роток-лони | ІІ | - | - | + | + | - | 350 |
| швидкісні газопромивачі Вентурі | ІІІ | - | - | + | - | - | 135 |
| ІІ | - | - | + | - | - | 350 |
| І | - | - | - | + | + | 1000 |
| Фільтрація за рахунокзачеплення | тканинні фільтри | V | + | - | - | - | - | 80 |
| Інерційне й дифузій-не оса- дження | волокнисті фі- льтри | ІІІ | + | + | - | - | - | 60 |
| ІІ | - | - | + | + | - | 150 |
| І | - | - | - | + | + | 250 |
| Дифузійне та інер- ційне оса-дження | порожнисті, насадкові та пінні пиловло-влювачі | ІІ | - | - | + | + | - | 200 |

# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Проаналізуйте фізичні основи технологічних процесів пиловловлювання.
2. Поясніть, як відбувається гравітаційне осадження частинок пилу.
3. Розкрийте суть інерційного осадження частинок пилу.
4. Наведіть схему руху газових потоків в циклоні.
5. Проаналізуйте роботу циклона з позицій сил, що діють на частинку в газово- му потоці при відцентровому осадженні.
6. Поясніть, чим визначається час осідання частинок в циклоні та ступінь їх вловлювання.
7. Розкрийте суть дифузійного осадження частинок.
8. Наведіть параметри, що визначають ефективність дифузійного осадження.
9. Охарактеризуйте осадження частинок за рахунок зачеплення.
10. Проаналізуйте ефективність очищення газів від пилу.
11. Наведіть класифікацію технологічного обладнання для очищення газів від пилу.
12. Дайте характеристику видів пиловловлювачів.